

MAGNETIC LEVITATION DEVICE

Radim Zedka

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xzedka01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Miloš

E-mail: milos@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper brings some general knowledge about magnetic levitation devices used for aesthetic and entertainment purposes. Two major principles are discussed while their advantages and disadvantages are pointed out. A new principal of hanging-type levitation device is constructed where permanent magnets are implemented into closed-loop magnetic system for lower power consumption. The function of control system is described and power consumption measurements are done.

Keywords: Permanent magnet, levitation, induction coil, closed-loop system,

1 ÚVOD

Levitace je jev, který popisuje stav hmotných objektů vzdorujících gravitační síle jinak než přímým mechanickým působením. Nejčastěji je touto protisilou pole elektrické, nebo magnetické. U magnetického pole je možné k levitaci využít sílu přitažlivou, nebo odpudivou. Podle teorie jsou magnety přitahovány do prostoru s intenzivním (nahuštěným) magnetickým polem (nesouhlasné póly magnetů). Naopak, kde je pole slabé (řídce) jsou magnety odpuzovány od sebe (souhlasné póly magnetů).

Magnetické levitace lze dosáhnout několika způsoby. V jednom případě se využije magnetického zavěšení levitovaného objektu pod fixní nástavec [1], v jiném případě zase levituje předmět nad fixním podstavcem [2]. Pomineme-li principy s využitím supravodivosti, je v obou případech nutné použít zpětnovazebně regulovaný zdroj magnetického pole. Je zřejmé, že první uvedený princip magnetické levitace je jednodušší, neboť regulace přitažlivé síly je snazší než regulace síly odpudivé, kde je nutné levitovaný předmět vyvažovat ve více souřadnicových osách.

Účel zařízení pro magnetickou levitaci může být praktický, nebo pouze estetický. V obou případech však zařízení spotřebovává energii pouze pro pokrytí ztrát v regulované soustavě (při levitaci nekoná užitečnou práci) a je výhodné hledat principy, které mají nízkou spotřebu energie. Za tímto účelem bylo zkonstruováno následující levitační zařízení.

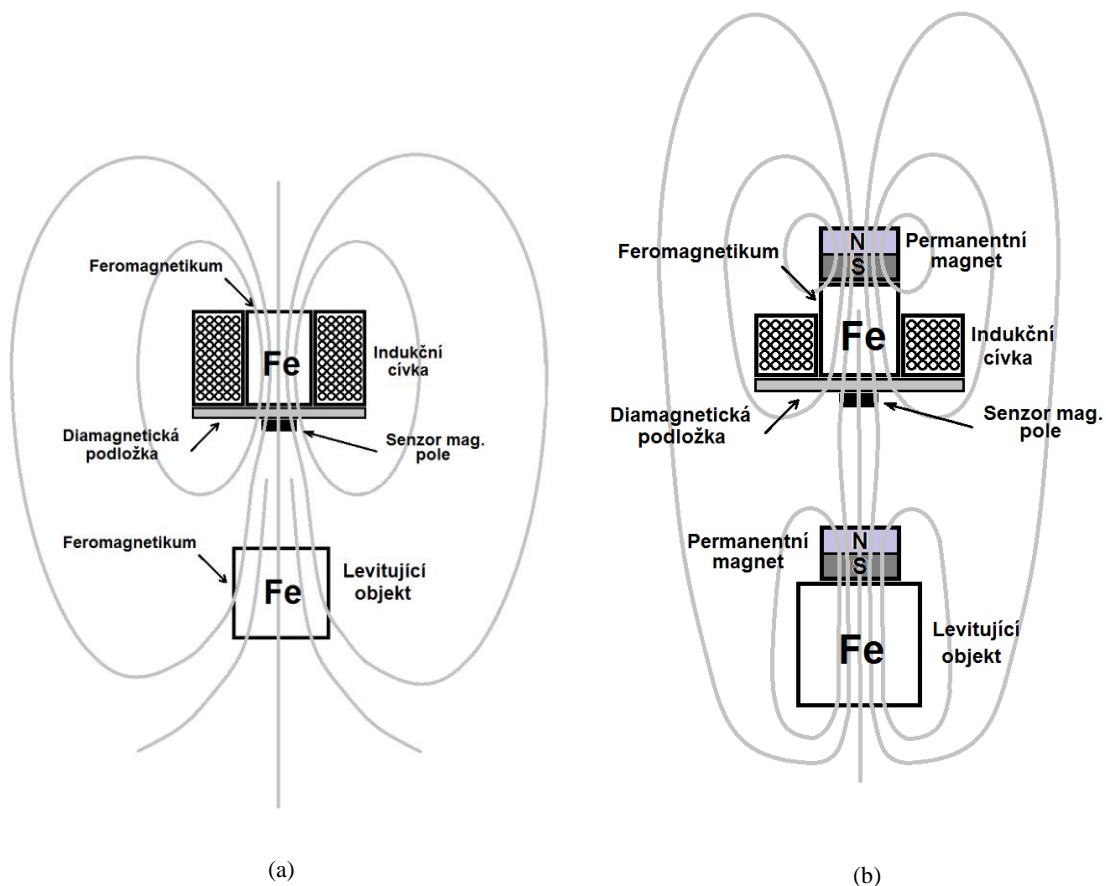
2 PRINCIP ZÁVĚSNÉHO LEVITAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

2.1 REALIZACE BEZ POUŽITÍ PERMANENTNÍCH MAGNETŮ

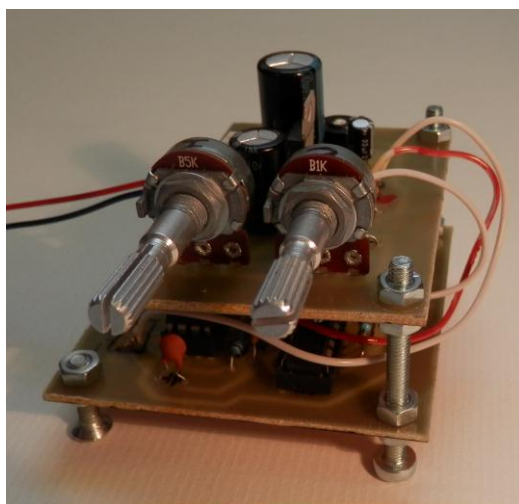
Jedná se o nejběžnější princip závěsného levitačního zařízení, který sestává ze solenoidního elektromagnetu a levitujícího předmětu (feromagnetikum, případně permanentní magnet). Mechanické uspořádání ilustruje Obrázek 1(a).

Vektor magnetické indukce měřený senzorem magnetického pole (Hallův senzor) má svislý směr a velikost je nepřímo úměrná vzdálenosti levitujícího předmětu od fixní indukční cívky. Dá se říci, že určitá hodnota magnetické indukce (napětí sondy) odpovídá určité vzdálenosti předmětu a jednoduchou regulační smyčkou lze celý systém řídit. Je však velkou nevýhodou, že jediným zdrojem magnetického pole (a tedy i přitažlivé síly) je indukční cívka, která spotřebovává neúmer-

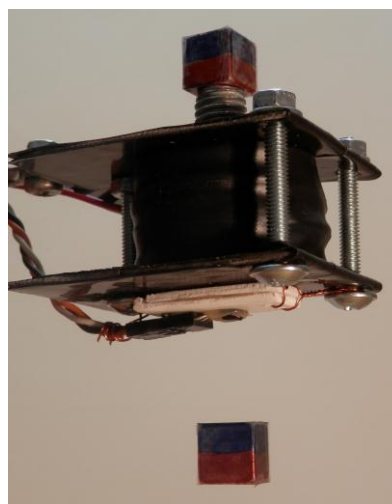
né množství energie, aniž by konala užitečnou práci (levitovaný předmět se nepohybuje). Spotřeba narůstá s nastavenou levitační vzdáleností a je možné ji snížit přidáním permanentního magnetu k levitujícímu objektu.



Obrázek 1: Znázornění funkce levitačního zařízení bez použití (a) a s použitím permanentních magnetů (b).



(a)



(b)

Obrázek 2: Řídicí obvod (a) a levitační mechanismus v provozu (b).

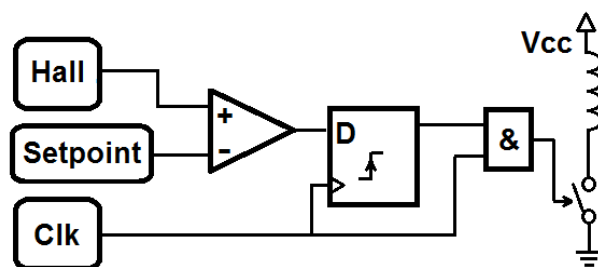
2.2 REALIZACE S POUŽITÍM PERMANENTNÍCH MAGNETŮ

Zde uvedené zařízení bylo zkonstruováno na **vlastním inovativním principu** (viz Obrázek 1(b) a Obrázek 2). Pro generaci magnetického pole byly s výhodou použity permanentní magnety, a to jak na fixní, tak na levitující části zařízení. V závislosti na síle magnetů a hmotnosti feromagnetické zátěže levitující části je možné experimentálně najít vzdálenost, pro kterou přitažlivá síla **téměř dokonale kompenzuje sílu gravitační**. Indukční cívka vytváří magnetické pole opačné polarity a působí tak proti poli permanentních magnetů, čímž udržuje velikost vzduchové mezery konstantní. Spotřeba zařízení je až **desetinásobně snížena** oproti konstrukci bez permanentních magnetů (obvykle stovky mA až jednotky A). Závislost odběru na velikosti vzduchové mezery pro zde uvedené zařízení je v Tabulce 1.

I_{GAP} [mm]	U_{SUP} [V]	I_{SUP} [mA]	P [mW]
22	7,5	95	713
19	7,5	50	375
17	7,5	22	165

Tabulka 1: Závislost spotřeby na vzdálenosti levitovaného předmětu od nástavce.

Princip regulace polohy je patrný z blokového schématu na Obrázku 3. Napětí z Hallova senzoru je komparováno s pevným napětím reference, které je vyladěno do optimálního bodu kompenzace gravitační síly. Indukční cívka je spínána logickými úrovněmi a oslabuje tak pole permanentních magnetů, pokud je levitující objekt příliš vysoko.



Obrázek 3: Blokové schéma zkonstruovaného levitačního zařízení.

3 ZÁVĚR

Využití permanentních magnetů ke snížení spotřeby závěsného levitačního zařízení se osvědčilo a zkonstruované zařízení je toho důkazem. Není pochyb o tom, že magnety naleznou využití i v jiných konstrukcích magnetických levitačních struktur. Je zde také velký prostor pro implementaci permanentních magnetů do principu levitace objektu nad elektronicky řízeným podstavcem.

PODĚKOVÁNÍ

Práce vznikla díky podpoře projektu s označením FEKT-S-17-4707.

REFERENCE

- [1] Vokoun, D., Beleggia, M., Heller, L., Šittner, P.: Magnetostatic Interactions and Forces between Cylindrical Permanent Magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2009, sv. 321, č. 22, s. 3758-3763, ISSN 03048853
- [2] Lahdo, M., Strohla, T., Kovalev, S.: Repulsive Magnetic Levitation Force Calculation For a High Precision 6-DoF Magnetic Levitation Positioning System. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2017, sv. 53, č. 3, s. 1-6, ISSN 00189464